



MÓDULO 6

DESPERDICIOS



6. DESPERDICIOS

6.1 Introducción

En este módulo se presentan metodologías para realizar estimaciones de las emisiones de metano (CH_4) procedentes de los vertederos de residuos sólidos, de las de CH_4 procedentes del tratamiento de las aguas residuales y de las de N_2O procedentes de los excrementos humanos.

6.2 Disposición de desperdicios sólidos en tierra

En esta sección se aborda la estimación de las emisiones de metano procedentes de los vertederos de residuos sólidos.

6.2.1 Introducción

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en vertederos de residuos sólidos por parte de las bacterias metanogénicas es fuente de emisiones de CH_4 que escapan a la atmósfera. Se estima que esta fuente representa entre el 5% y el 20% de las emisiones antropogénicas de CH_4 en todo el mundo (US EPA, 1994; IPCC, 1992).

En la metodología los vertederos de residuos sólidos (VRS) se dividen en “controlados” y “no controlados” dependiendo del grado y del tipo de control activo en el vertedero. La clasificación se utiliza para aplicar un Factor de Corrección para el Metano (FCM) que permite dar cuenta del potencial de generación de metano del vertedero.

6.2.2 Fuentes de los datos

Siempre que sea posible, deberán emplearse los datos disponibles a nivel local. Los valores por defecto presentados en las tablas deberán utilizarse cuando no se cuente con datos para los países.

Estadísticas demográficas: Los países que incluyan zonas en que no está organizada la recolección o disposición de desperdicios (por lo general en las zonas rurales) deberán reflejar en las hojas solamente las cifras de la población urbana a la hora de indicar la población. En las zonas rurales, los desperdicios generalmente se esparcen en la tierra en lugar de llevarse a vertederos de residuos sólidos, sufriendo generalmente descomposición aeróbica generando niveles muy bajos, o nulos, de emisiones de CH_4 .

Estadísticas sobre desperdicios: En muchos países se cuenta con información sobre las tasas de generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y sobre el porcentaje de esos residuos eliminados en los vertederos de residuos sólidos, debiendo emplearse esas cifras cuando estuvieren disponibles. En la Tabla 6-1 se indican los valores por defecto.

En la categoría de residuos sólidos urbanos se incluyen los siguientes tipos de desechos:

- 1 Residuos domésticos;
- 2 Desechos de jardín; y
- 3 Desechos comerciales/de los mercados

En algunos países se generan cantidades considerables de residuos orgánicos sólidos industriales. Los valores por defecto presentados en la Tabla 6-1 no deberán incluir los desechos sólidos industriales. De generarse una cantidad considerable de residuos orgánicos sólidos industriales que es eliminada en vertederos de residuos sólidos, deberá prestarse mucha atención a la determinación de la tasa apropiada *per capita* de generación de desechos sólidos y al valor del carbono orgánico degradable.

En esta publicación, el contenido de **carbono orgánico degradable** (COD) de los desechos incluye el contenido de carbono del papel y los textiles; los desechos de jardines y parques y otros desechos putrescibles (excluidos los alimentos); restos de alimentos; y otros desechos orgánicos biodegradables. El contenido de carbono orgánico degradable puede determinarse con uno de tres métodos:

- Utilizando los datos nacionales disponibles;
- Cálculos basados en la composición de los desechos del país objeto de estudio utilizando los valores por defecto para el carbono orgánico degradable indicados en la Tabla 6-3 para cada tipo de desecho; o
- Utilizando los valores por defecto presentados en la Tabla 6-1.

Se debe señalar que los valores indicados en las Tablas 6-1 y 6-3 corresponden, en términos generales, a los desechos húmedos (o frescos).

Es crucial que el valor del carbono orgánico degradable se corresponda con la tasa de generación/disposición de desperdicios en que está basada la estimación del metano. Por ejemplo, en un país en que los residuos industriales se incluyen en el cálculo de los RSU deberá velarse por que el valor utilizado para el carbono orgánico degradable refleje ese componente de los desechos.

Categorías de vertederos: Los vertederos de residuos sólidos se clasifican en dos categorías: controlados o no controlados. En los vertederos controlados deberá existir disposición controlada de los desechos (es decir, áreas específicas para depositar los desechos, cierto grado de control de la recolección de basuras y ciertas medidas de control de los incendios); asimismo, deberá utilizarse por lo menos uno de los siguientes: material de cobertura; compactado mecánico; o nivelación de los desperdicios. Todos los demás vertederos de residuos sólidos no comprendidos en la categoría anterior se consideran vertederos no controlados. Éstos se subdividen en profundos (≥ 5 m de profundidad) o poco profundos (< 5 m de profundidad), para dar cuenta de su potencial de generación de CH_4 .

La metodología exige que los países proporcionen datos o estimaciones de la cantidad de desechos eliminados en cada una de las tres categorías de vertederos. Se reconoce que en algunos países podría resultar difícil obtener esa información. En esos casos, se recomienda que los usuarios de las *Directrices* consulten a expertos nacionales en este campo para llegar a un consenso razonado sobre la situación del manejo de los desechos en el país.

Se debe señalar que la información requiere datos sobre la cantidad (masa) de desechos depositada en cada una de las categorías, y no el número de vertederos en cada categoría. Si se desconoce la proporción de desechos en



cada categoría, deberán emplearse los valores por defecto indicados en la Tabla 6-1.

6.2.3 Metodología

La metodología sencilla por defecto permite calcular las emisiones de CH₄ a partir de:

- A) la cantidad de desperdicios depositados en las diferentes categorías de vertederos de residuos sólidos;
- B) la fracción de carbono orgánico degradable y la cantidad que se degrada realmente; y
- C) la fracción de CH₄ en el gas de los vertederos.

ECUACIÓN I

Emisiones de metano (Gg/año)

=

$$(RSU_T \times RSU_F \times FCM \times COD \times COD_F \times F \times 16/12 - R) \times (1-OX)$$

en la cual:

- RSU_T = total de RSU generados (G/año)
- RSU_F = fracción de los RSU eliminados en los vertederos de residuos sólidos
- FCM = factor de corrección para el metano (fracción)
- COD = carbono orgánico degradable (fracción)
- COD_F = fracción de carbono orgánico degradable asimilado
- F = fracción de CH₄ en el gas de vertedero (el valor por defecto es de 0,5)
- R = CH₄ recuperado (Gg/año)
- OX = factor de oxidación (el valor por defecto es 0)

Cómo llenar la Hoja de trabajo

Utilice la HOJA DE TRABAJO 6-I - EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS para anotar los datos correspondientes a este submódulo.

PASO I ESTIMACIÓN DEL TOTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS Y ELIMINADOS EN VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS

VERTEDEROS ABIERTOS

En países que en el pasado no habían calculado las emisiones procedentes de los "vertederos abiertos", esta metodología por defecto podría traducirse en un aumento de las emisiones estimadas de metano. La metodología se describe por la Ecuación I.

METODOLOGÍA DE PRIMER ORDEN

Se insta a los países a que apliquen un modelo más perfeccionado como, por ej., el modelo de descomposición de primer orden, si cuentan con suficientes datos, y si el método se expone y justifica claramente. Véase el *Manual de Referencia*.

USO DE LA HOJA DE TRABAJO

- Copie la Hoja de trabajo que aparece al final de esta sección para completar el inventario.
- No escriba en el original de la hoja de trabajo para poder hacer copias adicionales en caso necesario.

- Si en el país objeto de estudio se dispone de estadísticas detalladas sobre el Total Anual de Residuos Sólidos Urbanos eliminados en los vertederos de residuos sólidos (en gigagramos de RSU), deberá anotarse la cifra correspondiente en la columna A de la Hoja de trabajo principal (Hoja de trabajo 6-1), y seguidamente ir directamente al Paso 2.

De lo contrario, utilizar la Hoja de trabajo 6-1A o 6-1B para estimar la cantidad de residuos sólidos urbanos eliminados en los vertederos de residuos sólidos en el país objeto de estudio siguiendo los pasos indicados a continuación.

Hoja de trabajo 6-1A (Adicional): DATOS SOBRE LA GENERACIÓN/ DISPOSICIÓN DE DESPERDICIOS EN EL PAÍS

- 1 Para el año del inventario, determinar la Población cuyos Desperdicios se llevan a vertederos de residuos sólidos. En los países desarrollados esa cifra probablemente coincidirá con la de la población total del país. En los países en desarrollo y aquellos con economías en transición, podría ser necesario reflejar solamente el total de la población urbana porque se da por sentado que la manera en que se eliminan los desechos en las zonas rurales da origen a emisiones de CH₄ sumamente bajas. Anotar esa cifra (número de personas) en la columna A.
- 2 Indicar en la columna B la Tasa de Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (en kg/per capita/día).

En esta publicación, los RSU incluyen:

- residuos domésticos;
- desechos de jardín; y
- desechos comerciales/de los mercados.

Si los RSU del país objeto de estudio contienen cantidades apreciables de otros desperdicios orgánicos como, por ej., residuos orgánicos sólidos industriales, deberá prestarse atención a seleccionar una tasa apropiada *per capita* de generación de desechos.

Deberán utilizarse los datos correspondientes al país para el que se prepara el inventario, si estuvieren disponibles. En la Tabla 6-1 se indican los valores por defecto (para los RSU, atendiendo a la definición *supra*) para algunos países específicos.

- 3 Multiplicar la cifra de la columna A por la de la columna B. Multiplicar el resultado por 365 para realizar la conversión de la tasa diaria y obtener la Cantidad Anual de RSU Generados. Dividir el total por 10⁶ para realizar la conversión de kg a Gg; anotar el resultado en la columna C.
- 4 Indicar en la columna D la Fracción de los RSU eliminados en vertederos de residuos sólidos. Utilizar los datos para el país objeto de estudio, si estuvieran disponibles; de lo contrario, utilizar los valores por defecto indicados en la Tabla 6-1.
- 5 Multiplicar la cifra de la columna C por la de la columna D a fin de obtener el Total Anual de RSU eliminados en vertederos de residuos sólidos. Anotar el resultado en gigagramos de RSU en la columna E.
- 6 Anotar la cifra de la columna E en la columna A de la Hoja de trabajo principal (Hoja de trabajo 6-1).



Hoja de trabajo 6-1B (Adicional): - DATOS SOBRE DISPOSICIÓN DE DESPERDICIOS EN EL PAÍS

Utilice la Hoja de trabajo 6-1B si no se cuenta con información para el país ni datos por defecto sobre la Tasa de Generación de Residuos Sólidos Urbanos ni la Fracción de los RSU eliminados en vertederos de residuos sólidos.

- 1 Determinar la Población cuyos Desperdicios se llevan a vertederos de residuos sólidos durante el año del inventario. Anotar el resultado en la columna A. En el caso de los países desarrollados, esa cifra probablemente coincidirá con la de la población total del país. En el de los países en desarrollo y los países con economías en transición, podría incluir solamente el total de la población urbana, ya que se da por sentado que la manera en que los desperdicios se eliminan en las zonas rurales dan lugar a emisiones de CH₄ sumamente bajas. Anotar esa cifra (número de personas) en la columna A.
- 2 Indicar en la columna B la Tasa apropiada de disposición de RSU en los vertederos de residuos sólidos (kg/capita/día) indicada en la Tabla 6-1. Si no se dispone de un valor por defecto para el país objeto de estudio, seleccionar el valor por defecto más indicado presentado en la Tabla. Deberá emplearse el valor por defecto de un país en que las prácticas de disposición de desechos y las condiciones ambientales imperantes sean lo más similares posibles a las del país objeto de estudio. (Éste podría ser el país geográficamente más cercano al país objeto de estudio).
- 3 Multiplicar la cifra de la columna A por la de la columna B. Multiplicar el resultado por 365 para realizar la conversión de la tasa diaria a fin de obtener el Total Anual de Residuos Sólidos Urbanos eliminados en los vertederos de residuos sólidos. Dividir el total por 10⁶ para realizar la conversión de kg a Gg y anotar el resultado en la columna C.
- 4 Anotar la cifra de la columna C en la columna A de la Hoja de trabajo principal (Hoja de trabajo 6-1).

PASO 2 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL METANO

Hoja de trabajo 6-1C (Adicional): FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL METANO

- 1 Estimar la Proporción de Desperdicios (por peso) de cada Tipo de Vertedero de Residuos Sólidos para el Total Anual de Residuos Sólidos Urbanos Eliminados en los VRS (es decir, la cifra de la columna A de la Hoja de trabajo 6-1). Esos tipos de vertederos se definen en la Tabla 6-2.

Anotar esas cifras en la columna W de la Hoja de trabajo 6-1C, debiendo corresponderse con los valores de x , y y z indicados en la Tabla 6-2. **[Verificar que $x+y+z=1$]**. Si se desconocen los valores de x , y y z , se dará por supuesto que la totalidad de los desechos se eliminan en vertederos no controlados y no se indicarán valores para x , y o z . En su lugar, anotar el valor por defecto de 1 en la parte inferior de la columna W (como se indica en la Tabla 6-2).
- 2 Indicar en la columna X los Factores de Corrección para el Metano para los vertederos controlados y no controlados que deberán corresponderse con los valores a , b y c indicados en la Tabla 6-2.

- 3 Multiplicar la cifra de la columna W por la de la columna X a fin de obtener el FCM Medio Ponderado para cada tipo de vertedero de residuos sólidos. Anotar el resultado en la columna Y.

Si no se cuenta con valores específicos para el país, emplear los valores por defecto indicados en la Tabla 6-2. Si se desconocen los valores de *a*, *b* y *c*, indicar el valor por defecto de 0,6 (Tabla 6-2) en la parte inferior de la columna X.

- 4 Sumar las tres cifras de la columna Y para obtener el Total del FCM Medio Ponderado para cada tipo de vertedero de residuos sólidos. Anotar el resultado en la casilla inferior de la columna Y.

Si se ha utilizado el valor por defecto de 1 en la columna W, y el valor por defecto de FCM de 0,6, el FCM Medio Ponderado para cada tipo de vertedero de residuos sólidos será $1 \times 0,6 = 0,6$. Indicar 0,6 en la parte inferior de la columna Y.

Llevar el total que aparece en la parte inferior de la columna Y a la columna B de la Hoja de trabajo principal (Hoja de trabajo 6-1).



TABLA 6-1
DATOS DE GENERACIÓN, COMPOSICIÓN Y DISPOSICIÓN DE DESPERDICIOS POR PAÍS

Región/ País	Tasa de generación de RSU (kg/cap/día)	Fracción de los RSU eliminados en los VRS	Fracción de COD de los RSU	Tasa de disposición de los RSU (kg/cap/día)
América del Norte			0,18-0,21	
EE.UU.	2,0	0,62		1,24
Canadá	1,81	0,75		1,35
Oceanía				
Australia	1,26	1,00	0,15	1,26
Nueva Zelandia	1,33	1,0	0,19	1,33
RU/Europa Occidental/ países escandinavos			0,08-0,19	
RU	1,9	0,9	0,10	1,7
Irlanda	0,85	1,00		0,85
Austria	0,92	0,40		0,36
Bélgica	1,10	0,43		0,47
Dinamarca	1,26	0,20		0,25
Finlandia	1,70	0,77		1,3
Francia	1,29	0,46		0,60
Alemania	0,99	0,66		0,65
Grecia	0,85	0,93		0,79
Italia	0,94	0,88		0,83
Luxemburgo	1,34	0,35		0,47
Países Bajos	1,58	0,67	0,14	1,06
Noruega	1,40	0,75		1,05

Nota: Los valores en la Tabla 6-1 representan la mejor información de que dispone el Grupo de Expertos. Se debe señalar que todos los valores podrían no reflejar supuestos idénticos respecto de la composición de los RSU (y, por ende, los valores correspondientes del COD). Cuando se cuente con datos nacionales que correspondan a las definiciones empleadas en esta publicación, deberán emplearse en las comparaciones, en lugar de los indicados en la Tabla 6-1.

Para más información sobre las fuentes, consultar el *Volumen 3, Manual de Referencia*.

TABLA 6-1 (CONTINUACIÓN)				
DATOS DE GENERACIÓN, COMPOSICIÓN Y DISPOSICIÓN DE DESPERDICIOS POR PAÍSES				
Región/ País	Tasa de generación de RSU (kg/cap/día)	Fracción de los RSU eliminados en los VRS	Fracción de COD de los RSU	Tasa de disposición de los RSU (kg/cap/día)
Portugal	0,90	0,86		0,78
España	0,99	0,85		0,83
Suecia	1,01	0,44		0,44
Suiza	1,10	0,23		0,25
Europa Oriental				
Polonia			0,15	0,54
Rusia	0,93	0,94	0,17	0,87
Asia				
Japón	1,12	0,38		0,43
India	0,33	0,6	0,18	0,2
China			0,09	0,84
Indonesia			0,17	0,51
Centroamérica				
Guatemala			0,13	0,46
América del Sur				
Brasil			0,12	1,47
Perú			0,15	0,98
Chile			0,18	0,59
África				
Egipto			0,21	0,40
Nigeria			0,11	0,40
Sudáfrica		1,00		
<p>Nota: Los valores en la Tabla 6-1 representan la mejor información disponible para el Grupo de Expertos. Se debe señalar que todos los valores podrían no reflejar supuestos idénticos respecto de la composición de los RSU (y, por lo tanto, los valores correspondientes de COD). Cuando se cuente con datos nacionales actualizados que correspondan a las definiciones empleadas en esta publicación, deberán emplearse para las comparaciones en lugar de los valores indicados en la Tabla 6-1.</p> <p>Para más información sobre las fuentes, consultar el <i>Volumen 3, Manual de Referencia</i>.</p>				



TABLA 6-2
CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL METANO

	W	X	Y	Z
Tipo de vertedero	Proporción de desperdicios (por peso) en cada tipo de vertedero	Factor de corrección para el metano (FCM): Valores por defecto	Factor de corrección para el metano (FCM): Valores específicos para el país	FCM medio ponderado para cada tipo de VRS
				$Z = W \times X$ (o $W \times Y$)
Controlados	x	1,0	a	= x o (a x x)
No controlados - profundos (>= 5m de desperdicios)	y	0,8	b	= 0,8y o (b x y)
No controlados - poco profundos (< 5m de desperdicios)	z	0,4	c	= 0,4z o (c x z)
Total	Verificar que $x+y+z=1$	-	-	Z_{total} (= suma de las cifras en las casillas sombreadas <i>supra</i>)
Valores por defecto	1	0,6	-	0,6

Definiciones:
En los vertederos de residuos sólidos controlados deberá existir disposición controlada de los desechos (es decir, depósito de los desechos en áreas específicas, algunas medidas de control de la recolección de basuras y cierto grado de control de los incendios); asimismo deberá utilizarse por lo menos uno de los siguientes elementos: material de cobertura; compactado mecánico; o nivelado de los desperdicios.

Todos los demás vertederos de residuos sólidos no comprendidos en la categoría anterior se definen como vertederos no controlados.

PASO 3 ESTIMACIÓN DE LA TASA DE PRODUCCIÓN DE METANO POR UNIDAD DE DESPERDICIOS

I Estimar la Fracción de Carbono Orgánico Degradable (COD) en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se elimina en el vertedero de residuos sólidos. Para ello se puede:

- utilizar los datos disponibles para el país objeto de estudio;
- realizar un cálculo sobre la base de la composición de los desechos en el país y de los valores por defecto para el carbono orgánico degradable de cada fracción de desechos indicados en la Tabla 6-3; o
- utilizando los valores por defecto indicados en la Tabla 6-1.

Cuando se cuente con datos locales deberán utilizarse esas cifras, en cuyo caso deberán documentarse las fuentes.

Tipo de desechos	Porcentaje de COD (por peso)
A. Papel y textiles	40
B. Desechos de jardines y parques y otros desechos orgánicos putrescibles (excluidos los alimentos)	17
C. Restos de alimentos	15
D. Desechos de madera y paja ¹	30
¹ excluido el C de la lignina Fuente: Bingemer y Crutzen, 1987.	

Empleando los valores de la Tabla 6-3, el carbono orgánico degradable de los desechos del país objeto de estudio puede calcularse utilizando la Ecuación 2.

ECUACIÓN 2

$$\text{Porcentaje de COD (por peso)} = 0,4(A) + 0,17(B) + 0,15(C) + 0,30(D)$$

en la cual:

- A = porcentaje de los RSU que corresponde al papel y los textiles
- B = porcentaje de los RSU que corresponde a los desechos de jardín y de los parques u a otros desechos orgánicos putrescibles (excluidos los alimentos)
- C = porcentaje de los RSU que corresponde a los restos de alimentos
- D = porcentaje de los RSU que corresponde a madera y paja



Si se utilizan los valores por defecto de la Tabla 6-1, seleccionar el valor por defecto que mejor se ajusta a las condiciones del país objeto de estudio.

Anotar el resultado en la columna C de la Hoja de trabajo principal (Hoja de trabajo 6-1).

- 2 Anotar en la columna D la Fracción del COD que Realmente se Degrada. Ésta es la fracción del total del COD que realmente se degrada en un vertedero. El carbono orgánico degradable no se descompone del todo y parte del material degradable permanece en el vertedero incluso durante largos períodos. La degradación es objeto de estudio actualmente, pero deberá indicarse el valor por defecto de 0,77 hasta que se cuente con información adicional.
- 3 Anotar en la columna E la Fracción del Carbono Liberado como Metano. El valor por defecto es de 0,5. Si se cuenta con datos locales para esa fracción, deberán emplearse esas cifras. En ese caso, deberán documentarse las fuentes.
- 4 Calcular la Tasa Potencial de Generación de Metano por Unidad de Desperdicios multiplicando las cifras de las columnas C, D, y E por la Relación de Conversión indicada en la columna F (16/12) que permite realizar la conversión de carbono en CH₄. Anotar el resultado en la columna G.
- 5 Calcular la Tasa Real de Generación de Metano (para el país) por Unidad de Desperdicios multiplicando las cifras de las columnas B y G. Anotar el resultado en la columna H.

PASO 4 ESTIMACIÓN DEL TOTAL NETO ANUAL DE LAS EMISIONES DE METANO

- 1 Multiplicar las cifras en las columnas A y H a fin de obtener el Total Bruto Anual de Metano Generado. Indicar el resultado en la columna J.
- 2 Anotar la cantidad de la Recuperación Anual de Metano, en gigagramos de CH₄, correspondiente al quemado de gases en antorcha o a los sistemas de recuperación de la energía. Anotar el resultado en la columna K.

No se cuenta con datos por defecto. En caso de contarse con datos locales, deberán emplearse esas cifras. En ese caso, deberán documentarse las fuentes.

En el *Manual de Referencia* se presentan detalles adicionales que deben tomarse en cuenta y los métodos para calcular el metano oxidado producto de su utilización o de la quema en antorcha.

- 3 Restar la cifras de la columna K de las de la columna J a fin de obtener el Total Neto Anual de Metano Generado. Anotar el resultado en la columna L.
- 4 Anotar en la columna M el resultado de restar de la unidad el Factor de Corrección para la Oxidación del Metano. (El valor por defecto es 1-0=1).

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL METANO

El Factor de Corrección para la Oxidación del Metano propuesto es 0. Ese valor podría modificarse en futuras ediciones del *Libro de Trabajo* para dar cuenta de nuevas informaciones y una mejor comprensión de los efectos de la oxidación del CH₄ en los vertederos.

- 5 Multiplicar las cifras de las columnas L y M a fin de obtener el Total Neto Anual de Emisiones de Metano. Anotar el resultado, en gigagramos de CH₄, en la columna N.

6.3 Emisiones de metano procedentes del tratamiento de las aguas residuales

6.3.1 Introducción

El tratamiento de aguas residuales con elevado contenido de material orgánico, incluidas las aguas residuales domésticas y comerciales y algunos efluentes industriales, puede dar origen a cantidades considerables de metano (Tabla 6-4). Se ha estimado que las emisiones de metano procedentes de los efluentes industriales oscilan entre 26 y 40 Tg, mientras que las de las aguas residuales domésticas y comerciales se elevan a unos 2 Tg/año. Tomadas en su conjunto, representan entre el 8% y el 11% de las emisiones de metano en todo el mundo (IPCC, 1995).

Existen dos tipos básicos de tratamiento de las aguas residuales, cuyas emisiones deberán calcularse por separado. Éstas son:

- Aguas residuales domésticas y comerciales
- Efluentes industriales

El factor principal que determina el potencial de generación de metano de las aguas residuales es la cantidad de materia orgánica en las aguas residuales. En el caso de las aguas residuales y los lodos domésticos y comerciales, esto corresponde a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); en el de los efluentes industriales, se emplea la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DBO indica la cantidad de carbono biodegradable aeróbicamente, mientras que la DQO indica la cantidad total de carbono, tanto biodegradable como no biodegradable, que puede oxidarse. Éste es un cambio respecto de la metodología anterior (IPCC, 1995), en que la DBO se empleaba como el parámetro para la materia orgánica, tanto para las aguas residuales domésticas y comerciales como para los efluentes industriales.

Una importante adición a la metodología anterior (IPCC, 1995) ha sido la incorporación de las emisiones procedentes de los lodos, que son subproductos de ciertos sistemas de tratamiento de las aguas residuales, y pueden dar origen a emisiones de metano en condiciones anaerobias.

6.3.2 Fuentes de los datos

Siempre que sea posible deberán emplearse los datos disponibles a nivel local. Si no lo estuvieren, se pueden emplear los valores por defecto presentados en las Tablas.

Población: Si en las zonas rurales no se emplean sistemas organizados de tratamiento de las aguas residuales, los países pueden reflejar solamente la población urbana a la hora de calcular esa fuente de emisiones.

Componente orgánico degradable: Si no se cuenta con datos nacionales o para fuentes específicas sobre los valores de DBO y DQO,



deberán emplearse los valores regionales por defecto (Tabla 6-5). Se recomienda realizar consultas con expertos nacionales especializados en aguas residuales.

TABLA 6-4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	
Método de tratamiento	Excepciones a la producción esperada de CH ₄
Métodos de disposición y tratamiento mayormente aerobios (poca o ninguna producción de CH₄)	
<u>Países en desarrollo</u> <ul style="list-style-type: none"> • Fosas abiertas/letrinas • Lagunas aeróbicas poco profundas • Descarga en los ríos 	<ul style="list-style-type: none"> • Las fosas abiertas/letrinas pueden ser fuente de metano cuando la temperatura y el tiempo de retención son favorables. • Las lagunas aeróbicas poco profundas de más de 3 metros de profundidad pueden dar origen a emisiones de metano. • Los ríos de aguas estancadas, deficientes en oxígeno, permiten la descomposición anaeróbica.
<u>Países desarrollados</u> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de alcantarillado con tratamiento aeróbico 	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño o manejo inadecuado de los sistemas de tratamiento aeróbico dan origen a emisiones de metano.
Métodos de disposición y tratamiento mayormente anaerobios (elevada producción de CH₄)	
<u>Países en desarrollo</u> <ul style="list-style-type: none"> • Estanques profundos anaerobios • Sistemas de alcantarillado con tratamiento anaerobio 	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño o el manejo incorrectos de los sistemas anaerobios pueden permitir aeración y producción reducida de metano. • La extracción frecuente de sólidos reduce la producción de metano.
<u>Países desarrollados y en desarrollo</u> <ul style="list-style-type: none"> • Fosas sépticas 	
Métodos anaerobios con recuperación de metano (mayormente para el tratamiento de lodos)	
<u>Principalmente países desarrollados</u>	

TABLA 6-5
VALORES ESTIMADOS DE DBO₅ EN LAS AGUAS RESIDUALES POR REGIÓN

Región	Valor de DBO ₅ (kg/cap/día)	Valor de DBO ₅ (kg/1000 personas/año)
África	0,037	13,505
Asia, Oriente Medio, América Latina	0,04	14,600
Norteamérica, Europa, Antigua URSS, Oceanía	0,05	18,250
Fuente: IPCC (1994)		



Producción industrial: Pueden estar disponibles cifras nacionales. Las cifras de producción pueden obtenerse dirigiéndose a industrias específicas.

Producción de efluentes y lodos industriales: Si no se dispone de datos, se pueden emplear los valores por defecto presentados en la Tabla 6-6.

Sistemas de tratamiento: Siempre que estén disponibles, deberán emplearse los datos nacionales sobre las prácticas de utilización de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales y los lodos. Se recomienda realizar consultas con expertos nacionales en estos campos.

6.3.3 Metodología

La metodología da cuenta de las emisiones procedentes de las aguas residuales y los lodos. En ambos casos, el método incluye tres partes: el total de materia orgánica; los factores de emisión; y las estimaciones de las emisiones. El material orgánico en las aguas residuales o los lodos, medido como DBO o DQO, se multiplica por el factor medio de emisión para cada fuente de aguas residuales o de fango a fin de obtener una estimación de las emisiones.

AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y COMERCIALES

Cómo llenar las Hojas de trabajo

Utilice la HOJA DE TRABAJO 6-2 - ESTIMACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y LOS LODOS DOMÉSTICOS Y COMERCIALES para anotar los datos correspondientes a este submódulo.

PASO I ESTIMACIÓN DEL TOTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES Y LOS LODOS ORGÁNICOS

- 1 Indicar en la columna A la Ciudad o Región. De no contarse con datos regionales, utilizar los datos nacionales.
- 2 Anotar en la columna B la población total, o la población urbana, para el año del inventario, en miles de personas. Los países en desarrollo podrían preferir indicar solamente la población de las zonas urbanas si en las zonas rurales el tratamiento de las aguas residuales es limitado o nulo. En la Tabla 6-4 se presenta una lista de métodos de tratamiento anaerobios y aerobios.
- 3 Anotar en la columna C el Componente Orgánico Degradable para cada región/ciudad en kg DBO/1000 personas/año. En la Tabla 6-5 se indican los valores por defecto y por región.
- 4 Anotar en la columna D la Fracción del Componente Orgánico Degradable Retirado como Lodos para cada región/ciudad. El valor por defecto es 0.

- 5 Multiplicar las cifras en las columnas B, C, y el resultado de restar de la unidad el valor de la columna D. Anotar el producto en la columna E. Esa cifra representa el Total de las Aguas Residuales Orgánicas Domésticas/Comerciales en la ciudad o región.
- 6 Multiplicar las cifras de las columnas B, C, y D. Anotar el producto en la columna F. Esa cifra representa el Total de los Lodos Orgánicos Domésticos/Comerciales en la ciudad o región.
- 7 Repetir el procedimiento de los puntos 1-6 para cada región o ciudad, si fuera necesario, utilizando la fila siguiente.
- 8 Sumar las cifras de la columna E. Anotar la suma en la casilla inferior correspondiente al "Total." Hacer lo mismo con las de la columna F. Los resultados representan el total de las aguas residuales y de los lodos domésticos y comerciales en el país.

PASO 2 ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN PARA LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y LOS LODOS DOMÉSTICOS Y COMERCIALES

Determinación del factor global de conversión en metano (FCM) para las aguas residuales domésticas/comerciales.

- 1 En la columna A de la hoja 2, indicar los tipos de Sistemas de Tratamiento de las Aguas Residuales utilizados para las aguas residuales domésticas.
- 2 En la columna B, anotar la Fracción de las Aguas Residuales Tratadas por el Sistema de Tratamiento de la columna A.
- 3 En la columna C, indicar el Factor de Conversión en Metano para el Sistema de Tratamiento indicado en la columna A.
- 4 Multiplicar las cifras de las columnas B y C. Anotar el producto en la columna D.
- 5 Anotar la suma de los productos en la casilla inferior de la columna D.
- 6 Indicar en la casilla inferior de la columna E la Capacidad Máxima de Producción de Metano para las aguas residuales. El valor por defecto (teórico) para B_0 es de 0,25 kg CH₄/kg DBO.
- 7 Calcular el Factor de Emisión medio para las Aguas Residuales Domésticas/Comerciales multiplicando la cifra en la parte inferior de la columna D por la que aparece en la parte inferior de la columna E. Anotar el producto en la parte inferior de la columna F.

PASO 3 ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LOS LODOS DOMÉSTICOS Y COMERCIALES

Cálculo del FCM global para los lodos domésticos/comerciales.



- 1 En la columna A de la hoja 3, indicar los tipos de Sistemas de Tratamiento de los Lodos empleados para las aguas residuales domésticas.
- 2 En la columna B, anotar la Fracción de los Lodos Tratados por el Sistema de Tratamiento indicado en la columna A.
- 3 En la columna C, anotar el Factor de Conversión en Metano para el Sistema de Tratamiento de la columna A.
- 4 Multiplicar las cifras de las columnas B y C. Anotar el producto en la columna D.
- 5 Anotar la suma de los productos en la casilla inferior de la columna D.
- 6 Anotar en la parte inferior de la columna E la Capacidad Máxima de Producción de Metano correspondiente a los lodos. El valor por defecto (teórico) para B_0 es de $0,25 \text{ kg CH}_4/\text{kg DBO}$.
- 7 Calcular el Factor de Emisión medio para los Lodos Domésticos/Comerciales multiplicando la cifra de la parte inferior de la columna D por la que aparece en la parte inferior de la columna E. Anotar el producto en la parte inferior de la columna F.

PASO 4 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES Y DE LOS LODOS DOMÉSTICOS/COMERCIALES

- 1 En la columna A, filas 1 y 2 de la hoja 4, copiar la cifra correspondiente al Total de las Aguas Residuales Orgánicas Domésticas/Comerciales que aparece en la parte inferior de la columna E de la Hoja de trabajo 6-2, Hoja 1, y el valor correspondiente al Total de Lodos Orgánicos Domésticos/ Comerciales indicado en la casilla inferior de la columna F de la Hoja de trabajo 6-2, Hoja 1.
- 2 En la columna B, copiar el Factor de Emisión medio para las Aguas Residuales Domésticas/Comerciales indicado en la columna F de la Hoja de trabajo 6-2, Hoja 2, y el Factor de Emisión medio para los Lodos Domésticos/Comerciales que aparece en la columna F de la Hoja de trabajo 6-2, Hoja 3.
- 3 Multiplicar las cifras de las columnas A y B. Anotar el producto en la columna C.
- 4 Anotar en la columna D la cantidad total del Metano Recuperado y/o Quemado en Antorcha, en kg de CH_4 , correspondiente a las aguas residuales o lodos domésticos/comerciales. Si no se dispone de datos, el valor por defecto es cero.
- 5 Restar la cifra de la columna D de la de la columna C. Multiplicar por 10^{-6} para realizar la conversión de emisiones a gigagramos. Anotar la diferencia en la columna E.
- 6 Sumar las cifras en ambas filas de la columna E en la parte inferior de la columna. El resultado representa las Emisiones Netas de CH_4 procedentes de las aguas residuales y lodos domésticos/ comerciales.

TABLA 6-6 DATOS SOBRE EFLUENTES INDUSTRIALES POR REGIÓN			
Tipo de industria y Región	Efluente producido (m ³ /toneladas de producto)	Valor de la DQO (kg DQO/m ³ aguas residuales)	País
Bebidas - destiladas e industria			
Genéricas - etanol	13 m ³ / m ³ etanol	40	Brasil Países Bajos
Genéricas - etanol	ND	5,000 kg/ m ³ etanol	
América del Sur	ND	22	
Europa Occidental	ND	4,0 - 5,0	
Bebidas - malta y cerveza			
Genéricas	5 m ³ / m ³ cerveza	17	Países Bajos
Genéricas	5-9 m ³ / m ³ cerveza	2,0 - 7,0	
Europa Occidental	ND	1,0 - 1,5	
Alimentos -carne y aves			
Genéricos	1,4 m ³ /animal	ND	Países Bajos EE.UU.
Europa Occidental	ND	2,9	
América del Norte	ND	15,0	
Alimentos - pescado			
América del Norte	ND	2,5	EE.UU.
Alimentos - café			
América del Norte	ND	3,0 - 14,0	EE.UU.
Alimentos - productos lácteos			
Genéricos	2,8	ND	Países Bajos
Europa Occidental	ND	1,5	
Alimentos - frutas y verduras			
Genéricos (fábricas de conservas)	26	ND	EE.UU. Países Bajos Países Bajos
Genéricos Elaboración de tomates	26	ND	
América del Norte, papas	ND	3,0	
Europa Occidental, blanqueado de frijoles	ND	5,2	
Europa Occidental, choucroute	ND	10,0 - 20,0	
Alimentos - aceites			
Genéricos - Aceite de origen vegetal	1,6	0,3	Turquía Malasia
Oriente Medio	ND	42	
Asia	ND	25	
Alimentos - azúcar			
Centroamérica (caña)	ND	98	México
Hierro y acero			
América del Sur	0,1	ND	Brasil
Productos químicos orgánicos			
Europa Occidental	ND	20 - 40	Países Bajos
Productos farmacéuticos			
Oriente Medio	ND	1,3	Egipto



TABLA 6-6 (CONTINUACIÓN)			
DATOS DE EFLUENTES INDUSTRIALES POR REGIÓN			
Tipo de industria y Región	Efluente producido (m ³ /toneladas de producto)	Valor de la DQO (Kg DQO/m ³ de efluentes)	País
Féculas			
Genérica, fécula de papa	ND	4,0 - 16	
Genérica, fécula de trigo	ND	2,0 - 42	
Genérica, fécula de maíz	ND	10	
Producción de petróleo			
América del Norte	ND	0,3 - 0,4	EE.UU.
América del Norte	ND	1,8	Canadá
Pulpa y papel			
Genérico (pulpa de papel)	58	2,0 - 15	
América del Norte (fábrica de pulpa de papel)	140	ND	EE.UU.
Genérico (papel)	ND	2,0 - 8,0	
América del Norte (papel virgen)	97	1,6	EE.UU.
América del Norte (papel reciclado)	44	3,0	EE.UU.
Europa Occidental (papel)	ND	1,0 - 3,0	Países Bajos
Textiles			
Rayón	501	ND	
Grecia	ND	0,09	
América del Norte, telares	ND	1,0	EE.UU.
Curtido de pieles			
América del Norte, genérico	ND	5,8	EE.UU.

Fuente: Doorn y Eklund (1995). Para una lista pormenorizada de referencias para cada categoría de aguas residuales, véase Doorn y Eklund (1995). No se dispone de datos (ND) para la DQO en la producción de aguas residuales para cada país y región. Se llevan a cabo investigaciones para determinar los valores de producción de aguas residuales y los de la DQO en esos países y regiones. Se debe señalar que esos datos están en proceso de revisión y actualización.

<p align="center">TABLA 6-7 DATOS PARA LA DERIVACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES</p>			
Región	Tipo de tratamiento	Fracción de las aguas residuales tratadas (%)	FCM (%)
África			
Kenya	Estanques	50	ND
Túnez	Estanques	20	ND
Zimbabwe	Lodos activados	50	ND
Resto de África	Estanques	5	80
Asia			
Indonesia	no especificado	1	ND
Singapur	no especificado	1	ND
República de Corea	no especificado	1	ND
Taiwan	no especificado	1	ND
Resto de Asia	no especificado	5	75
América Latina y el Caribe	no especificado	10	80
Australia y Nueva Zelandia	no especificado	80	70
<p>Fuente: Doorn y Eklund (1995). Para una lista pormenorizada de referencias para cada región, véase Doorn y Eklund (1995). No se dispone de datos (ND) sobre el factor de Corrección para el Metano (FCM) para algunos países y regiones. Se llevan a cabo investigaciones para determinar el FCM para esos países y regiones. Se debe señalar que estas cifras son objeto de revisión y actualización.</p>			